

В.А. КОЛБАСИН, Л.М. ЛЮБЧИК, д-р техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ ДАННЫХ ТЕПЛОВИЗОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В статті розглянуто декілька методів зменшення обсягів фільмів, отриманих в результаті реєстрації полів теплового випромінювання. Проведено оцінку якості алгоритмів компресії даних, які базуються на методах кодування. Розглянуті напрямки подальшого розвитку алгоритмів компресії окремих зображень та фільмів.

Введение. Одним из перспективных методов неразрушающего контроля деталей и узлов энергетического оборудования и двигательных установок является тепловизионная диагностика. Регистрация и последующая компьютерная обработка данных, характеризующих поля теплового излучения, позволяет восстановить внутреннюю структуру температурных полей и оценить локальные теплофизические характеристики исследуемых изделий, что в свою очередь может служить информационной основой для обнаружения и диагностики внутренних дефектов. Создание высокоточных и быстродействующих приемников теплового излучения – тепловизоров, позволяет радикально изменить методику и эффективность неразрушающего контроля деталей со сложной внутренней структурой. Это связано, прежде всего, с возможностью получения большого объема информации о динамике изменения температурных полей, регистрируемых в виде фильмов.

Необходимо подчеркнуть, что в результате теплового сканирования получают большие объемы информации. Так в результате одного эксперимента с помощью тепловизора IRTIS получается «фильм» из 10-15 кадров (1-2 кадра/сек), разрешение которого 240 на 320, и цветность одного пикселя – 2а байта. В результате получается файл размером почти в 2 Mb. Кроме того, для более точной диагностики обычно необходимо провести съемку с нескольких различных направлений. В результате тепловизионного эксперимента для диагностики одного изделия получаем 4-5 Mb данных. Кроме того, в настоящее время начинают все шире использоваться тепловизоры с большим разрешением (1000 на 1000) и большей скоростью съемки (10 кадров/сек). В этом случае для одного изделия с использованием таких камер получаем около 300 Mb данных.

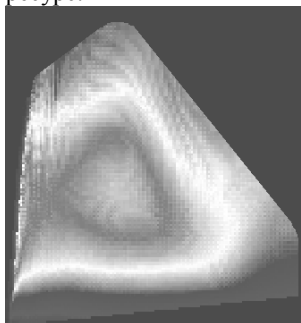
В условиях промышленной диагностики хранение такого большого объема данных в неупакованном формате невозможно. Поэтому возникает необходимость разработки алгоритмов сжатия фильмов, полученных в результате теплового сканирования.

Для сжатия фильмов разработано большое количество различных алгоритмов, например, такие общеизвестные как MPEG и другие. Однако эти алгоритмы, являясь алгоритмами с потерями, добиваются больших степеней сжатия тем, что они «жертвуют» точностью (качеством) закодированных данных, в результате чего при расшифровке мы получаем фильм, отличающийся от исходного. Все эти алгоритмы в качестве критерия точности используют либо критерии визуального различия, либо значение среднеквадратичной ошибки.

Для кодирования тепловых фильмов такой подход не применим, т.к. критерием качества в данной ситуации служат не визуальные различия или среднеквадратичная ошибка, а отличия в результатах диагностики.

Постановка задачи. В данной статье фильмы будут представляться как последовательность закодированных изображений без учета их временной связанности. Будет проведено сравнение различных алгоритмов сжатия изображений по следующим основным характеристикам: среднеквадратичная ошибка, PSNR, количественные характеристики диагностики фильмов.

В качестве исследуемого объекта была взята информация о тепловизорном исследовании лопатки турбины (см. рисунок). Для эксплуатации лопатки принципиальное значение имеет эффективность системы охлаждения, от нормального функционирования которой существенно зависит эксплуатационный ресурс.



Пример теплового изображения

компрессии фильмов, не внося больших изменений в результаты вычисления диагностического показателя.

Описание исследуемых алгоритмов. Для сравнения были использованы такие алгоритмы: блочное DCT кодирование, вейвлет кодирование с использованием различных базисных функций.

Блочное DCT кодирование. Данный метод можно считать стандартным, т.к. с теми или иными модификациями он используется в таких общеизвестных стандартах как JPEG. В данном случае изображение разбивалось на квадраты 8 на 8, к каждому квадрату применялось DCT преобразование. Далее по усредненной ошибке по всем квадратам выбирались n наибольших коэффициентов, которые впоследствии кодировались, остальные коэффициенты при декодировании принимались равными нулю.

Wavelet кодирование. Данный метод, хотя и является достаточно новым, уже успел себя хорошо зарекомендовать. Для сжатия используется аналогичная DCT кодированию технология. Вначале изображение преобразуется с помощью вейвлет преобразования, затем выбираются коэффициенты с наибольшей энергией (значимые коэффициенты), они квантуются и записываются в выходной файл. Остальные коэффициенты принимаются равными нулю. Данный метод лишен некоторых недостатков предыдущего, например, при восстановлении изображения, закодированного DCT, возникает эффект блочности изображения –

Рассматриваемая система диагностики эффективности внутреннего охлаждения основана на использовании метода регулярного теплового режима для нестационарных процессов теплообмена [4]. Метод был разработан Г.М. Кондратьевым и подробно изложен в литературе, посвящённой вопросам теплопередачи (см. [1-2]). В результате работы компьютерной системы диагностики вычисляется так называемый показатель «количество неохлаждаемых зон», на основе значения которого выносятся решение о пригодности лопатки к дальнейшей эксплуатации. При этом важно добиться высокой степени

изображение как будто состоит из блоков, на границе которых видны сильные различия. Однако в целом, осуществляя большую степень сжатия, вейвлет кодирование проигрывает по скорости.

Существует огромное количество вейвлет преобразований. В данной работе будут рассмотрены наиболее простые и распространенные из них – вейвлеты Хаара и вейвлеты Добеши 4-го и 6-го порядков.

Для вейвлетов Хаара масштабирующая функция и вейвлет функция выглядят следующим образом:

$$\phi(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, 1] \\ 0, & t \notin [0, 1] \end{cases} \quad (1)$$

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, 0.5[\\ -1, & t \in [0.5, 1[\\ 0, & t \notin [0, 1[\end{cases} \quad (2)$$

Для вейвлетов Добеши невозможно записать масштабирующую и вейвлет функции в явном виде. Они находятся рекурсивно по следующим формулам:

$$\phi(t) = s(c_0\phi(2t) + c_1\phi(2t-1) + \dots + c_{N-1}\phi(2t-(N-1))) \quad (3)$$

$$\psi(t) = \frac{1}{s}(c_{N-1}\phi(2t) - c_{N-2}\phi(2t-1) + \dots - c_0\phi(2t-(N-1)))$$

при следующих ограничениях нормированности и ортогональности:

$$\|\phi\|^2 \equiv \int_{-\infty}^{\infty} \phi^2(t)dt = 1 \quad (4)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi(2t-j)\phi(2t-m)dt = \delta_{j,m} \quad (5)$$

Для нахождения значения коэффициентов c_i накладываются условия исключения начальных моментов. Для вейвлетов 4-го порядка должны исключаться нулевой и первый момент. Для вейвлетов 6-го порядка – нулевой, первый и второй моменты.

Другими словами, для вейвлетов 4-го порядка для множества коэффициентов $W = (c_3, -c_2, c_1, -c_0)$ должны соблюдаться следующие условия:

$$c_3 - c_2 + c_1 - c_0 = 0 \quad (6)$$

$$c_3 - 2c_2 + 3c_1 - 4c_0 = 0$$

Для вейвлетов 6-го порядка добавляется еще условие исключения второго момента:

$$1^2c_5 - 2^2c_4 + 3^2c_3 - 4^2c_2 + 5^2c_1 - 6^2c_0 = 0. \quad (7)$$

Таким образом, для вейвлетов 4-го порядка коэффициенты равны:

$$c_0 = \frac{1+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad c_1 = \frac{3+\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad c_2 = \frac{3-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}, \quad c_3 = \frac{1-\sqrt{3}}{4\sqrt{2}}. \quad (5)$$

И для вейвлетов 6-го порядка:

$$\begin{aligned} c_0 &= 0.33267055, \quad c_1 = 0.8068915, \quad c_2 = 0.4598775, \\ c_3 &= -0.135011, \quad c_4 = -0.0854412, \quad c_5 = 0.03522629. \end{aligned} \quad (6)$$

Для записи значимых коэффициентов в файл использовался метод нуль-деревьев с последующим арифметическим кодированием. Подробное описание метод нуль-деревьев можно найти в [5].

Для дальнейшего уменьшения размера выходного файла к полученным данным применялось Хаффмановское кодирование.

Анализ полученных результатов. В таблице представлены результаты работы описанных алгоритмов.

Для оценки качества работы алгоритмов использовались такие показатели: среднеквадратичная ошибка (MSE), отношение сигнал/шум (PSNR), показатель «количество неохлаждаемых зон» (в таблице «к.н.з.»).

Для получения результатов использовались два различных фильма с показателем «к.н.з.» 1.3% и 11.28% (фильмы F1 и F2). Значения PSNR и MSE для них слабо различаются, поэтому в таблице используется усредненное значение по обоим образцам. Для параметра «сжатие» также используется усредненный показатель.

Результаты исследования

Характеристик и	DCT преобразование			Вейвлеты Хаара		Вейвлеты Добеши 4-го порядка		Вейвлеты Добеши 6-го порядка	
	8	16	24	3%	5%	3%	5%	3%	5%
Кол-во коэффициентов									
PSNR	46.9	56.93	66.24	53.9	58.9	59.7	65.5	60	65.4
MSE	295	93.27	31.94	132	74.5	67.6	34.8	65.8	35.3
«к.н.з.» F1, %	1.09	1.1	1.14	1.33	1.03	1.39	1.18	1.33	1.33
«к.н.з.» F2, %	13.23	13.30	13.18	13.50	13.16	13.14	13.23	13.27	13.11
Сжатие	5.2	2.7	1.7	10.4	7.8	10.4	7.8	10.4	7.8

Результаты исследования алгоритмов показывают, что использование вейвлетов дает не только более высокую степень сжатия видео данных, но и лучшие характеристики восстановления изображения.

Выводы. В работе были предложены лишь наиболее общие подходы к компрессии данных тепловизионного эксперимента. Для совершенствования представленного метода необходимо разработать алгоритм межкадрового предсказания. Также перспективным является направление, связанное с разбиением исходного изображения на области. При этом каждая область кодируется с различным количеством коэффициентов и, следовательно, с различным качеством. Используя такой подход можно добиться более высокой степени сжатия, не теряя при этом основной части информации.

Список литературы: 1. Кулиниченко В.Р. Справочник по теплообменным расчетам. – К.: Техника, 1990. – 165с. 2. основополагающие стандарты в области метрологии. ГОСТ 8.207-76. 3. Определение эффективности охлаждения лопаток с помощью тепловидения. Тяжелое машиностроение. 1991. №2. С. 21–26. 4. Копелев С.З., Слитенко А.Ф. Конструкция и расчет систем охлаждения ГТД. – Харьков: «Основа», 1994. – 240с. 5. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. М., 2003. 301с.

Поступила в редколлегию 04.04. 06